

Evaluation Comparative de Chargeurs de Batteries pour Systèmes Photovoltaïques

AUTOR: Angel Cid Pastor.
DIRECTOR: Corinne Alonso (LAAS-CNRS).
PONENT: Roberto Giral Castillon (ETSE-URV).

DATA: Septembre/ 2002.

Rapport de Stage Projet Fin d'Etudes

Evaluation Comparative de Chargeurs de Batteries pour Systèmes Photovoltaïques

Angel Cid Pastor

Responsables de Stage :

Corinne Alonso	**LAAS-CNRS**
Denis Lagrange	**(Responsable Technique LAAS-CNRS)**
Jean Alzieu	**(Responsable EDF)**
Roberto Giral Castillón	**(Tuteur ETSE-URV)**

Septembre 2002



Laboratoire
d'Analyse et
d'Architecture
des Systèmes



Le LAAS est une unité propre de recherche du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), rattaché au Département Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC), il est associé à trois établissements d'enseignement supérieur de Toulouse : l'Université Paul Sabatier (UPS), l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) et l'Institut National Polytechnique (INP).

Officiellement créé en 1967 sous le nom de Laboratoire d'Automatique et de ses Applications spatiales, il s'installe dans ses locaux (sur le complexe scientifique de Rangueil Lespinet) en Mai 1968 avec un effectif de 140 personnes.

Le LAAS aujourd'hui Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes compte 507 personnes et dispose de 11400m2 de locaux.

Sous la tutelle du Ministère de l'Education Nationale de la Recherche et de la Technologie, le Centre National de la Recherche Scientifique est un Etablissement Public national à Caractère Scientifique et Technique (EPST)

Le Laboratoire a à sa tête une équipe de direction nommée pour 4 ans (3 fois renouvelable).

Direction du LAAS (1997-2000)

Directeur : Jean-Claude LAPRIE, Directeur de Recherche CNRS

Directeur-Adjoint : Augustin MARTINEZ, Professeur

Le laboratoire s'est doté de statuts qui régissent son organisation et son fonctionnement.

La recherche est structurée en douze groupes de recherche et un laboratoire commun (dont les responsables sont élus) qui ont à leur disposition trois services techniques et les services administratifs et logistiques où sont regroupés tous les ITA du Laboratoire

Rattaché au département des Sciences pour l'Ingénieur, le LAAS conduit des recherches dans les trois grandes disciplines : AUTOMATIQUE, INFORMATIQUE et MICROELECTRONIQUE.Ses activités de recherche sont menées dans le cadre de douze groupes de recherche et d'un laboratoire commun avec l'industrie.

Ce projet a été développé dans le Groupe Technologie, Micro et Nanostructures (TMN) ayant comme responsable de groupe M. Gabriel Blasquez.

Le Groupe Technologie, Micro et Nanostructures (TMN) a pour objectifs principaux la conception et la mise au point de technologies, composants et dispositifs spécifiques destinés à la réalisation de microsystèmes hybrides. Dans le domaine des systèmes, les mots composants et dispositifs sous-entendent non seulement les composants fondamentaux de la microélectronique mais aussi les capteurs, les actionneurs et des modules divers. Le champ des microsystèmes hybrides couvre l'ensemble des microsystèmes obtenus par assemblage de composants, de circuits et de microdispositifs divers.

Ce projet s’effectue dans le cadre d’une collaboration entre le LAAS-CNRS et EDF (Electricité de France) pour effectuer des tests comparatifs de chargeurs de batterie pour systèmes photovoltaïques du commerce sur le site instrumenté du LAAS-CNRS.

Un point particulier est à développer sur la commande MPPT créé pour la LAAS et ne comprenant pas pour l’instant de protections.

Concernant le LAAS-CNRS, la responsabilité scientifique de ce stage a été assurée par Mme Corinne Alonso et la responsabilité technique par Mr Denis Lagrange.

Pour la partie EDF (Electricité de France), la suivi de l’étude a été assuré par Mr. Jean Alzieu.

Plus généralement, cette étude s’insère dans les axes de surcharges sur les énergies renouvelables et la conversion d’énergie sous la responsabilité de Mme Corinne Alonso.

A l'issue de ce projet fin d'études, je souhaite tout d'abord remercier Mr Jean Claude Laprie et Mr Augustin Martinez, directeurs du LAAS-CNRS, et Mr Gabriel Blasquez responsable du groupe TMN, pour m'avoir accueilli au sein de son laboratoire.

Je souhaite aussi remercier Mme Corinne Alonso du LAAS-CNRS, Mr Luis Martinez Salamero de l'ETSE-URV de Tarragona et Mr Jean Alzieu de EDF pour m'avoir donné la possibilité de réaliser ce projet d'études au LAAS-CNRS Toulouse.

Je tiens également à témoigner ma reconnaissance à Denis Lagrange qui par sa remarquable compétence et qualité humaine a rendu ce travail très intéressant.

Un gros merci pour Bruno Estibals, qui m'a donné des attentions et des aides professionnels et personnelles très importants au cours de ce stage.

Je remercie par ailleurs Vincent Boitier, Firas Shraif, Patrick Marcoul et Daniel Medale qui ont participé dans ce sujet à apporter contributions très importants pour leur succès.

Je veux remercier aussi mes compatriotes catalans Ramon Leyva et Ricard Pedrola avec lesquels j'ai partagé de discussions techniques et amicales notamment importants pendant l'évolution de tout le stage.

Je tiens également à remercier à Matthieu Guirardel par ses apporte et idées pendant la réalisation du projet.

J'en profite également pour remercier tous les amis avec lesquels j'ai partagé ce stage : Daisuke Saya, Sébastien Courthieu, Alain Salles, Simone Fantuzzi, Emmanuelle Baldini et tous ceux qui ont fait de ce stage une expérience inoubliable.



A mes parents qui m'ont encouragé pendant toutes mes études.

A Laura, qui a été patiente et encourageante en tout moment.





Sommaire

1 INTRODUCTION. 1

2 LE GENERATEUR PV ET SES PERFORMANCES 3

2.1 Rappels. 3
2.2 Déduction des Critères d'évaluation 3

3 LA COMMANDE MPPT : AUGMENTATION DE L'EFFICACITE ?. 5

4 RENDEMENT DE LA CHAINE DE PUISSANCE 7

5 DIFFERENTES METHODES DE CHARGE D'UNE BATTERIE PLOMB-ACIDE. 9

5.1 Différents types de cycles de charge d'une batterie de Pb. 9
5.1.1 Charge à courant constant. 10
5.1.2 Charge à tension constant. 10
5.1.3 Taper charging. 11
5.1.4 Charge pulsée. 11
5.1.5 Trickle charging. 11
5.1.6 Charge flottante. 11
5.1.7 Charge rapide. 11
5.2 Influence de la température sur la charge d'une batterie plomb – acide. 11

6 LES REGULATEURS A TESTER. 13

7 LA CHAINE D'ACQUISITION DE MESURE LAAS-CNRS 14

7.1 Description du Banc de mesure 14
7.1.1 La Carte d' Adaptation 15
7.1.2 La carte d'acquisition. 16
7.1.3 Carte interface PCI-DIO-32HS. 18
7.1.4 Logiciel de Mesure SOL. 19
7.1.5 Traitement des données obtenues avec le système de mesure 20

8 ETUDE COMPARATIVE DE CHARGEURS DE BATTERIES A ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE. 22

9 CONCLUSIONS 23

10 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 24

11 ANNEXE I. ÉTALONNAGE DE LA CHAINE DE MESURE. 26

12 ANNEXE II. ÉTALONNAGE DES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES. 27

13 ANNEXE III. FICHIERS MATLAB DE TRAITEMENT DE DONNEES. 28







Evaluation Comparative de Chargeurs de Batteries pour Systèmes Photovoltaïques

1 Introduction.

Les convertisseurs statiques, adaptés à l'énergie solaire photovoltaïque, sont souvent appelés dans le commerce « convertisseurs solaires ». Ils ont comme objectif d'adapter l'énergie électrique qui provient des panneaux photovoltaïques, pour pouvoir alimenter des charges alternatives compatibles avec un réseau électrique EDF ou bien alors charger des batteries, comme on peut le voir figure 1.1.

Les régulateurs disponibles sur le marché sont majoritairement des régulateurs automatiques de charge. Ils intègrent différents types de protection pour assurer la fiabilité du système de conversion. La plupart d'entre eux ne prélèvent pas la puissance maximale qui pourraient être délivrée par les panneaux photovoltaïques. En effet, ces régulateurs qu'on pourrait appeler « classiques » effectuent une connexion directe entre les panneaux solaires et la batterie quand celle-ci est déchargée. La charge s'effectue donc sous une tension de panneau V_{PV} imposée par la tension de la batterie, cette dernière tension variant selon l'état de charge de la batterie (de 10 V à 14 V pour une batterie à plomb de 12 V nominal).

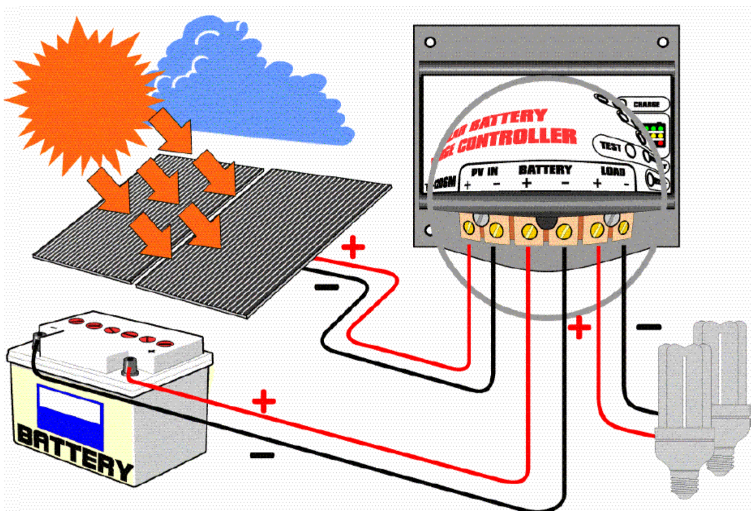


Figure 1.1 .- Chaîne de puissance [10].

D'autres régulateurs recherchent le point optimal de fonctionnement nommé PPM (Point de Puissance Maximale) et correspondant à une tension et un courant de panneau PV optimaux (nommés respectivement V_{OPT} et I_{OPT}) pour lesquels la puissance débitée par le générateur photovoltaïque est maximale. Cette puissance maximale dépend d'un certain nombre de paramètres météorologiques dont le niveau d'irradiation solaire et la température.





L'étude comparative effectuée par le LAAS-CNRS en partenariat avec EDF consiste à évaluer les performances de divers chargeurs de batteries solaires les plus performants sur le marché. Pour cela, l'étude s'est effectuée en deux parties :

- *évaluation des performances de divers chargeurs à travers les informations fournies par les constructeurs en vue de l'achat de quelques exemplaires,*
- *test en site réel pour évaluer de façon comparative les chargeurs retenus dans l'étape précédente.*

Un rapport EDF intermédiaire des études menées dans ce cadre porte essentiellement sur la première partie, [25]. Ainsi, après avoir brièvement rappelé le fonctionnement d'un générateur PV, nous avons fixé un certain nombre de critères d'évaluations en vue d'effectuer une comparaison de diverses notices techniques. Puis, nous avons effectué un certain nombre de tests comparatifs sur site réel dont les principaux résultats constitueront le 2e rapport EDF de cette étude.







2 Le Générateur PV et ses performances.

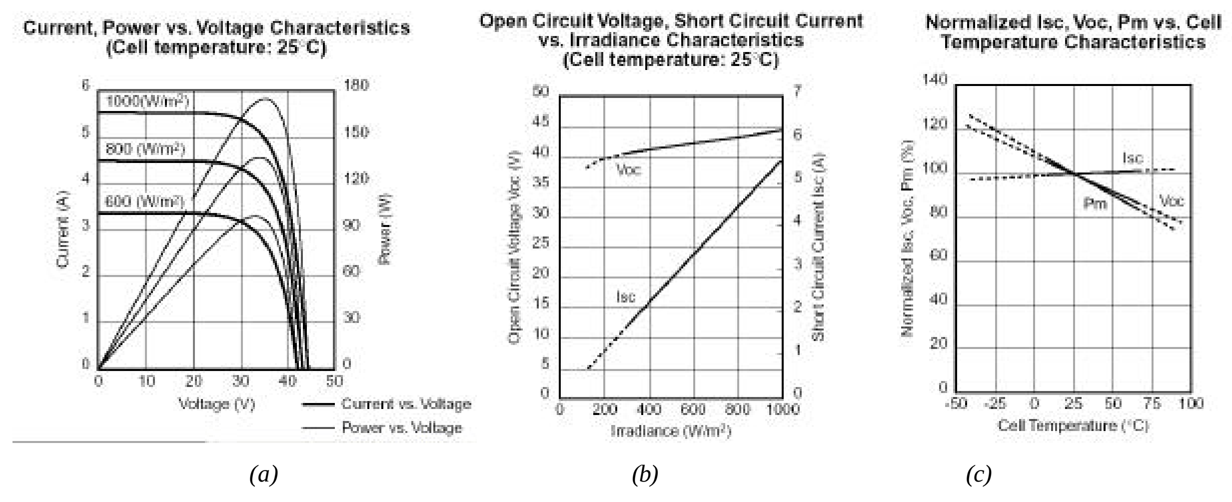
2.1 Rappels.

Les caractéristiques électriques d'un panneau photovoltaïque varient en fonction de la température et de l'éclairement. Les courbes caractéristiques courant-tension d'un panneau solaire, telles que celles décrites en figure 2.1 pour le panneau PV commercial référencé NT-R5E3H de chez SHARP, montrent bien l'influence de l'éclairement et de la température.

Les caractéristiques électriques figure 2.1a montrent la variation du courant du panneau ainsi que de la puissance en fonction de la tension pour différents niveaux d'éclairements. On peut voir aussi, sur ce graphique, l'existence de maximums sur les courbes de puissance. Ces points-là correspondent au Point de Puissance Maximale (V_{OPT}, I_{OPT}).

Lorsque l'irradiation varie pour une température donnée, on peut considérer en première approximation que le courant de court-circuit I_{sc} varie proportionnellement à l'irradiation. De même, dans un même temps, la tension de circuit ouvert V_{oc} (à vide) varie très peu (figure 2.1b).

Par contre, lorsque la température croît à irradiation constante, la tension V_{oc} décroît , et le courant I_{sc} croît légèrement (figure 2.1c).



(a) *(b)* *(c)*

Figure 2.1 : Caractéristiques techniques du panneau NT-R5E3H [3].

2.2 Déduction des Critères d'évaluation

En plus des principaux phénomènes physiques cités ci-dessus, d'après [1, 4-7], les générateurs PV ont des comportements non-linéaires qui peuvent être aléatoires en fonction du site de mise en fonctionnement. Ainsi :

- Pour le cas le plus défavorable qui est un temps nuageux et venté, l'irradiation change dans de larges proportions et rapidement,
- Pour le cas d'un site présentant des zones d'ombre, plusieurs maxima intermédiaires peuvent apparaître. Ceci peut être un phénomène temporaire lié à une infrastructure ou alors permanent lié à la poussière ou des feuilles d'arbre par exemple.

- Un autre changement brutal de point de fonctionnement est à noter : en régime de fonctionnement classique, ce changement est directement lié au comportement de la charge.

Ainsi, selon la prise en compte des principaux phénomènes physiques, les régulateurs solaires du commerce disposent de systèmes de contrôle supplémentaires plus ou moins élaborés. Un grand nombre sont ainsi dotés de commandes permettant d'effectuer une recherche du PPM plus ou moins élaborées. Ces régulateurs sont souvent appelés « régulateurs MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) ».





3 La commande MPPT : Augmentation de l'efficacité ?.

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation, permet de faire fonctionner un générateur PV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Ainsi, quels que soient les conditions météorologiques (température et irradiation), et quelle que soit la tension de la batterie, la commande du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (V_{OPT}-I_{OPT}), [1, 4, 5, 7].

Pour expliquer l'intérêt d'utiliser un régulateur comprenant une commande MPPT, nous avons effectué un rapide calcul de puissance délivrée par un panneau BP585F disponible sur le site de test du LAAS-CNRS lorsqu'il est relié directement à une batterie puis lorsqu'il est connecté à une batterie à travers un régulateur utilisant une commande MPPT. La comparaison s'effectue sous un ensoleillement de 1 kW/m² et une température (25 °C).

Les caractéristiques I-V de ce panneau photovoltaïque choisies à 1 kW/m² et 25 °C donnent comme PPM V_{OPT} =18 V et I_{OPT} =4,72 A (figure 3.1).

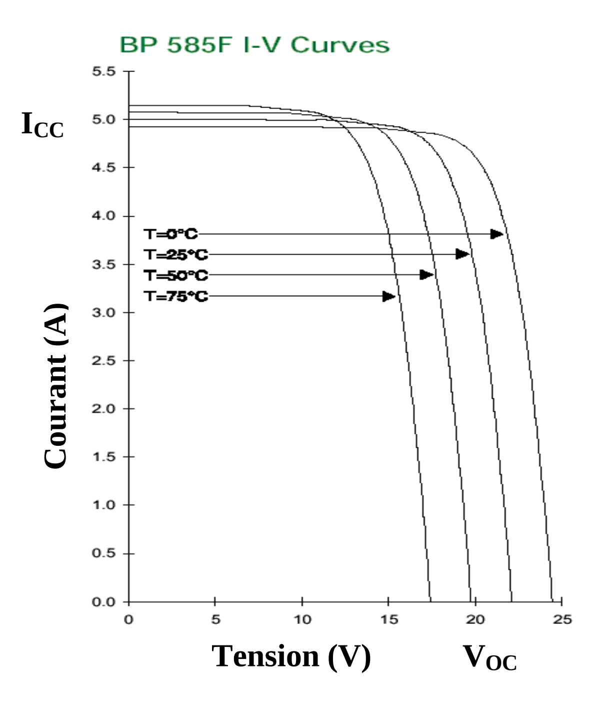


Figure 3.1 : Extrait de caractéristiques courant- tension d'un panneau photovoltaïque ref. BP585F de chez BP SOLAR disponibles sur le site du LAAS-CNRS pour différentes températures et un éclairement de 1kW/m2 [2].

Considérons qu'une batterie de stockage classique à plomb ayant une tension nominale de 12 V, se charge en augmentant progressivement sa tension de 10 à 14 V. Pour simplifier les calculs, une valeur moyenne de 13 V, pour la tension de la batterie pendant la charge, est choisie.

Cas 1. Le panneau est directement connecté à la batterie.

Le panneau travaille à la tension fixée par la batterie, soit 13 V en moyenne. A cette valeur, le courant délivré par le panneau sera proche du courant I_{SC}, soit 4.9 A. La

puissance instantanée alors fournie à la batterie est de 13*4.9 = 63,7 W. Dans ce cas, le régulateur peut être considéré sans pertes car il transmet la puissance en connexion directe.

Cas 2. Le panneau est connecté à la batterie par un étage d'adaptation.

Si on travaille avec un régulateur à commande MPPT, dans les mêmes conditions d'ensoleillement et de température, le panneau fonctionnant à son PPM, il est en mesure de fournir théoriquement à la batterie 4,7* 18 = 84,6 W. Dans ce cas, la puissance réelle délivrée par le générateur est proche du maximum mais pour considérer la puissance fournie à la charge, il faut tenir compte du rendement électrique de l'étage d'adaptation. Ainsi, si le convertisseur statique servant d'adaptateur a un rendement de 85%, alors la puissance délivrée à la batterie n'est plus que de 71,2 W.

Dans l'exemple traité ci-dessus, le gain en puissance de la solution 2 par rapport à la solution 1 est de 12 %. L'écart est important. Cependant, beaucoup de systèmes préfèrent effectuer une connexion directe car elle semble encore de nos jours la moins coûteuse et la plus robuste. Toutefois, l'intérêt des régulateurs à MPPT est de plus en plus démontré sur les gros systèmes car ils permettent de dissocier le champ de panneaux en différents générateurs indépendants.

Etant donnés les enjeux, le LAAS-CNRS a décidé de créer un banc de mesures permettant de tester plusieurs convertisseurs (jusqu'à 5) dans des conditions de fonctionnement quasi-identiques, pour évaluer l'impact des MPPT dans les circuits. La description de la conception du banc de test est détaillé dans [8, 9]

Ainsi, des études comparatives sur plusieurs jours sont possibles. Cela permet notamment d'étudier les diverses performances des divers chargeurs en fonction de différents profils de charge, éclairements et températures. Les études pratiques devraient permettre de quantifier l'apport réel des régulateurs avec MPPT par rapport à ceux n'en possédant pas.

4 Rendement de la Chaîne de Puissance.

Pour avoir une idée plus précise des origines des pertes, des rendements de chaque partie de la chaîne de puissance ont été définis. Pour cela, le rendement total de celle-ci a été décomposé en diverses types de rendements reliés spécifiquement à chaque partie de la chaîne.

L'irradiance G (W/m²) représente la puissance lumineuse reçue par unité de surface. La puissance reçue par le panneau de surface A (m²) est donc $G \cdot A$.

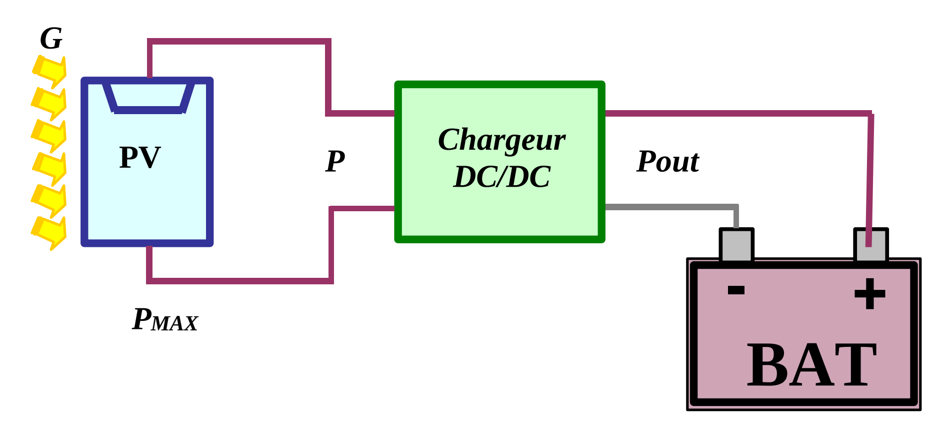


Figure 4.1.- Chaîne élémentaire de conversion d'énergie solaire comprenant un panneau photovoltaïque, un chargeur de batterie et une batterie Plomb-Acide.

Le rendement maximum de la conversion photons-électrons du panneau solaire noté h_{PV} est défini selon l'équation (4.1)

$$h_{PV} = \frac{P_{MAX}}{G \cdot Aeff} \tag{4.1}$$

où P_{MAX} est le maximum de puissance potentiellement disponible à la sortie du panneau.
Remarques :

1).- Pour surface du panneau, deux notations supplémentaires doivent être définies

- surface totale du panneau comprenant l'infrastructure et qu'on notera A_T.
- surface effective du panneau PV représentant uniquement partie active (capteur PV) effectuant la conversion. On la notera Aeff.

2).-P_{MAX} dépend des paramètres physiques du panneau et des conditions météorologiques [26] comme nous avons pu le constater au long de cette étude.

La puissance P effectivement délivrée par un générateur PV va dépendre en plus de la commande utilisée dans le convertisseur (MPPT, asservissement de tension,...). Le rendement du point de fonctionnement qui en découle que nous notons h_{RPF} ou h_{MPPT} permet de mesurer l'efficacité de la commande. En fait on peut l'appeler aussi rendement de la commande.

$$h_{RPF} = \frac{P}{P_{MAX}} = h_{MPPT} \tag{4.2}$$

Enfin, le rendement du convertisseur noté h_{CONV}, généralement fourni par les documents constructeurs est défini par (4.3), en notant Pout la puissance délivrée en sortie du convertisseur.

$$h_{CONV} = \frac{Pout}{P} \tag{4.3}$$

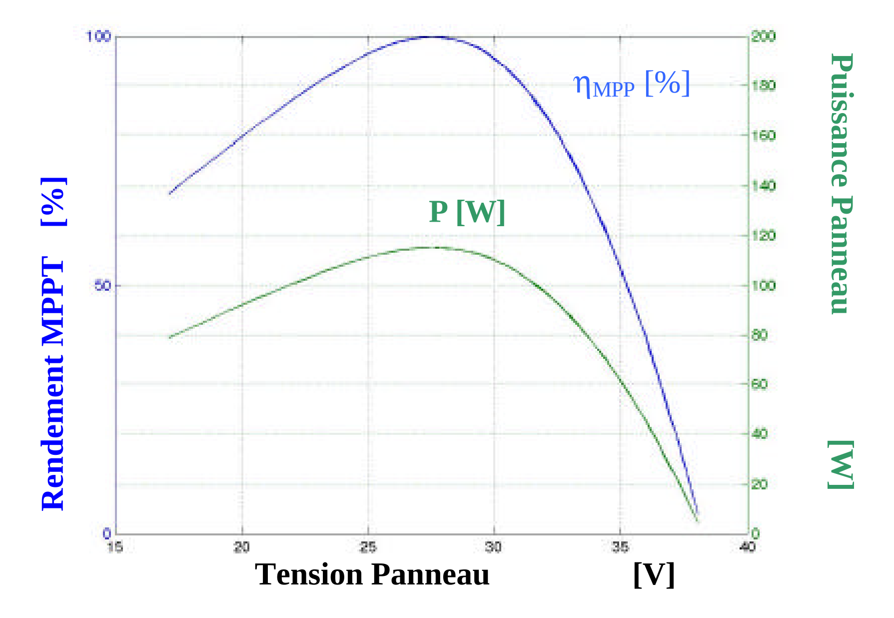


Figure 4.2.- Puissance disponible et rendement de la commande pour différents points de fonctionnement, mesures réels sur un panneau faites avec le banc de mesure du Site LAAS-CNRS.

Le rendement total de la chaîne de conversion η_{TOTAL} (4.4) peut être défini le produit de ces trois rendements précédemment définis.

$$h_{TOTAL} = \frac{P_{MAX}[W]}{G[W/m^2] \cdot A[m^2]} \cdot \frac{P[W]}{P_{MAX}[W]} \cdot \frac{Out[W]}{P[W]} = h_{PV} h_{CONV} h_{MPPT} \tag{4.4}$$

Pour l'étude que nous avons développé, seuls les rendements du point de fonctionnement et du convertisseur ont été considérés. Nous nommons rendement global du chargeur h_{GL_CH}, le produit du rendement du convertisseur par le rendement du point de fonctionnement ou rendement de la commande :.

$$h_{GL_CH} = \cdot \frac{P[W]}{P_{MAX}[W]} \cdot \frac{Out[W]}{P[W]} = h_{CONV} h_{MPPT} \tag{4.5}$$

5 Différentes Méthodes de charge d'une batterie Plomb-Acide.

Pour bien comprendre le fonctionnement des chargeurs de batteries et pouvoir mieux comparer leur performances, nous appelons brièvement les principales méthodes de charge appliquées actuellement aux batteries Plomb-Acide. Seul ce type de batterie est testé durant cette première étude d'évaluation. En effet, de son coût et ses performances en températures (fonctionnement températures extrêmes) par rapport aux autres types de batteries ce sont toujours les plus utilisées pour les systèmes photovoltaïques terrestre. De plus, nous appelons l'influence de la température sur la charge de la batterie en fin de cette partie.

5.1 Différents types de cycles de charge d'une batterie de Pb.

La recharge appropriée d'une batterie (dans notre cas de type plomb – acide) devient prépondérante pour obtenir une durée de vie optimale quelles qu'en soient les conditions d'utilisation de cette batterie. Une recharge de la batterie plomb – acide qui permet d'augmenter sa durée de vie et ses performances doit répondre à quelques normes générales comme celles décrites ci-dessous, [19] :

- 1.- Pendant la phase de démarrage de la charge, le courant de charge doit être inférieur à la valeur qui produit une tension moyenne sur la cellule de la batterie inférieure à la tension de gazéification (environ 2.4 V par cellule).
- 2.- Pendant la phase de recharge et jusqu'à ce que 100 % de la décharge précédente ait été récupérée le courant de charge doit être contrôlé pour maintenir la tension aux bornes de la cellule inférieure à la tension de gazéification.
- 3.- Quand 100 % de la capacité déchargée a été récupéré sous le contrôle de la tension citée ci-dessus, l'index de charge doit chuter à une valeur d'environ à une vingtième part de la capacité en Ah de la batterie. Alors à partir de ce moment-la, la charge doit être effectué à courant constant.

Plusieurs méthodes [19] de charge permettent de respecter les considérations précédentes. Nous pouvons citer celles les plus citées et dont la procédure et communément admise :

- Charge à courant constant.
- Charge à courant constant (avec différents niveaux de courant).
- Charge modifiée à courant constant.
- Charge à tension constante.
- Charge modifiée à tension constante avec un courant constant en début de charge.
- Charge modifiée à tension constante avec une phase final à niveau de courant constant.
- Charge modifiée à tension constante avec un courant constant en début de charge et une phase final à niveau de courant constant.
- *« Taper charging »*.
- Charge pulsée.
- *« Trickle charging »*.
- Charge flottante.
- Charge rapide.

Pour bien établir les critères de comparaisons des divers chargeurs de batteries du commerce utilisant chacun une partie de ces charges, nous rappelons les définitions exactes de ces charges.

Toutefois, certains chargeurs [17] enfin réalisent une charge avec une gazéification forcée sous contrôle [19] .Cette méthode sert à éliminer la stratification des électrolytes produite pendant les longues périodes de décharge de la batterie. Le contrôle de la stratification permet de préserver la capacité et la durée de vie des batteries. Cet aspect est très intéressant du point de vue de la durée de vie des batteries.

Les définitions de quelques notations sont nécessaires avant de continuer. On appellera comme niveau de courant de charge au courant en ampères qui sont fournis à la batterie. L'état de charge d'une batterie est la quantité d'énergie électrochimique restant dans une batterie. La capacité d'une batterie est la quantité d'électricité relié dans la réaction électrochimique et est définie en Ah (ampère-heure).

5.1.1 Charge à courant constant.

Cette méthode de charge s'applique au moyen d'un contrôle qui assure que le courant de charge délivré à la batterie reste fixe à une valeur déterminée. Il peut s'agir également de charges à différents niveaux de courant programmés à l'avance. Pour différents niveaux de courant de charge, la tension de la cellule augmente très brusquement lorsque on s'approche la pleine charge. L'effet de l'incrément rapide de tension peut se produire à des états de charge bas si le niveau de courant de charge est très élevé, et au contraire, si le niveau de courant de charge est bas au moment de l'incrément brusque de la tension, on peut considérer que l'état de charge est très près du 100%.

Une fois que ce phénomène est apparu, il est recommandé de finir la charge par charge à niveau de courant de charge de C/500, (où C désigne la capacité de la batterie en Ah).

Il est à remarquer qu'en plus de l'influence directe du niveau de courant, il existe également une influence de la température de la batterie au moment où se produit le front de tension, pour températures plus élevées le front de tension sera un peu diminué.

5.1.2 Charge à tension constant.

Cette méthode comporte une charge de la batterie à tension constante. Différentes variations existent selon si on ajoute une limitation du courant de charge au début de la charge, à la fin de la charge, où bien même au début et à la fin de celle-ci. Ces types de charge sont appelés respectivement : *Charge modifiée à tension constante avec un courant constant au début de la charge, Charge modifiée à tension constante avec une phase final à niveau de courant constant et Charge modifiée à tension constante avec un courant constant au début de la charge et une phase final à niveau de courant constant*. Pour cette dernière méthode, le circuit de charge au début de celle-ci a une limite de courant de charge, cette valeur limite est maintenu jusqu'à un niveau de tension donnée, ensuite la tension est régulée autour d'une valeur constante pendant que le courant de charge diminue exponentiellement, jusqu'à atteindre un état de charge du 100 % de la batterie. Une charge à courant très faible est conseillé pour minimiser la surcharge et les effets produits par celle-ci. La dernière partie de la charge sera faite avec une limitation de courant constant à une valeur très faible.

5.1.3 Taper charging.

Ce type de charge est une variante de la charge modifiée à tension constante en utilisant des circuits de charge plus simples pour diminuer le coût de l'équipement. Par contre, une réduction de la durée de vie de la batterie est à prévoir par rapport au mauvais contrôle de la surcharge de celle dernière. Entraînant un degré de gazéification difficile à quantifier ainsi qu'un incrément de température. En effet ce deux paramètres qui sont plus ou moins maîtrisés selon le degré de complexité du circuit de charge sont les causes principales de réduction de la durée de vie de la batterie.

5.1.4 Charge pulsée.

Dans ce type de charge, le chargeur est périodiquement isolé des connexions de la batterie pour pouvoir effectuer la mesure de la tension en circuit ouvert. Si la tension en circuit ouvert est plus haute qu'une valeur préfixée, le chargeur ne délivre pas de l'énergie à la batterie. Dans le cas contraire ou si la tension chute, le chargeur délivre une impulsion dont la durée dépend du temps qu'il faut à la batterie pour atteindre à nouveau la valeur butoir de tension.

5.1.5 Trickle charging.

Ce type de charge qui peut être qualifié de « goutte à goutte » est réalisé au moyen d'une charge à courant constant avec un index très basse (environ C/100). Cette méthode est utilisée pour maintenir la batterie en situation de pleine charge en rechargeant seulement l'énergie perdue en cours du temps autodécharge ou pour restituer l'énergie délivrée par la batterie lors d'une connexion intermittente de la charge.

5.1.6 Charge flottante.

La charge flottante est une faible charge du type « tension constante » qui est également utilisé pour maintenir la batterie en état de pleine charge.

5.1.7 Charge rapide.

La charge rapide consiste à fournir à la batterie la plupart de la charge en peu de temps (inférieur à une heure en dépendant de l'application). Le contrôle de la charge sous des conditions extrêmes devient très important pour prévenir des dégradations de la batterie liées à un changement de la morphologie de l'électrode, un incrément important de la température, une surcharge, une phase de gazéification).

5.2 Influence de la température sur la charge d'une batterie plomb – acide.

La température de la batterie est un paramètre important à considérer si on veut assurer une charge appropriée de ce dernière. Pour des températures plus élevés, la tension nécessaire pour récupérer la totalité de la capacité d'une cellule en un temps donné est réduite à cause de la réduction du temps du cycle de la réaction interne de la batterie.

La courbe de la figure 5.1, voir [19], illustre la dépendance de la charge avec la température. Pour tenir compte de ce phénomène et maximiser la durée de vie de la batterie, un coefficient négatif de charge environ $-2.5\, mV/{}^{o}C$ par cellule devra être utilisé pour des températures éloignées de 25 ^{o}C. Ainsi la variation de la tension de charge en fonction de la température prévient les problèmes thermiques quand la batterie est chargée

à haute température et assure une charge appropriée quand la température de la batterie est faible.

Quelques circuits intégrés qui sont par ailleurs des contrôleurs de charge de batterie présentent déjà la possibilité d'une variation de la tension de charge en fonction de la température [12]. Ainsi, certains chargeurs du commerce ont déjà en option, [15,17,18].

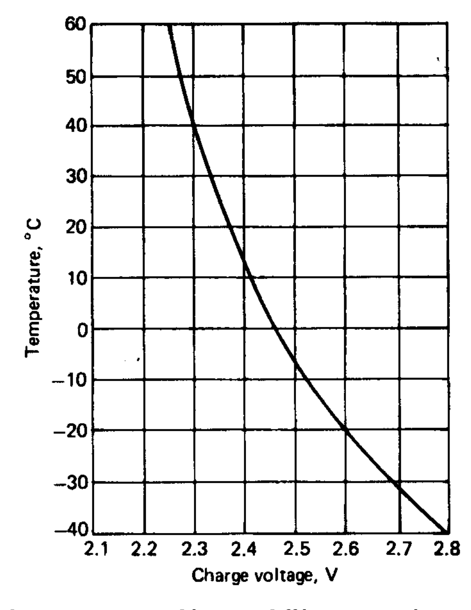


Figure 5.1.- Tension de charge recommandée pour différents températures de batterie (Compensation de Température), [19].

6 Les régulateurs à tester.

Ce chapitre reste confidentiel, pour tout renseignement veuillez contacter :

Mme Corinne ALONSO

Email : alonsoc@laas.fr

Téléphone : (0033) 05 61 33 69 42

Fax : (0033) 05 61 33 62 08

Groupe TMN (Technologie de Micro et Nanostructures.)

LAAS-CNRS

Av Colonel Roche 7,

31077 TOULOUSE Cedex 4

FRANCE





7 La Chaîne d'Acquisition de Mesure LAAS-CNRS.

Afin de pouvoir réaliser des mesures sur plusieurs chaînes de conversion d'énergie photovoltaïque, une chaîne d'acquisition de mesures assistée par ordinateur a été entièrement conçue et réalisée au LAAS-CNRS. Le premier objectif de ce système de mesure est d'évaluer le rendement énergétique d'une ou plusieurs chaînes de conversion modulaires pour systèmes photovoltaïques. Toutefois, ce système de mesure peut également être utilisé pour réaliser des mesures sur des convertisseurs du commerce et des chaînes élémentaires ayant plusieurs sources d'énergies pour tester et améliorer leurs performances.

Ce système de mesure permet de réaliser les mesures de tension et de courant à l'entrée et à la sortie de différents convertisseurs au même instant. En ce moment, le site de mesure permet de mesurer jusqu'à cinq convertisseurs. En plus d'avoir des mesures en parallèle, le système de mesure présente une précision élevée qui garantie une erreur de mesure sur le rendement d'un convertisseur de ±1%.



Figure 7.1.- Photographie du site photovoltaïque du LAAS-CNRS.

7.1 Description du Banc de mesure .

La chaîne de mesure permet d'évaluer les rendements de cinq systèmes de conversion d'énergie travaillant en même temps, les mesures réalisées sont la tension du panneau, courant du panneau, tension de batterie et courant de batterie. De ces mesures, on peut déduire les différents puissances d'une chaîne de puissance élémentaire : puissance instantanée à l'entrée et à la sortie, puissance moyenne à l'entrée et à la sortie et puissance maximale délivrée par les panneaux. A partir des données de puissance, le système peut calculer les rendements de la chaîne.

Le système de mesure est géré par un logiciel appelé SOL qui, depuis un PC, contrôle tout le procès d'acquisitions y compris le stockage des données sur le disque dur.

La chaîne de mesure que nous utiliserons pour faire les mesures sur les chargeurs de batteries solaires est constituée éléments suivants:

- 5 Cartes d'adaptation en comprenant des capteurs des grandeurs à mesurer.
- 5 Carte d'acquisition.
- 1 Carte d'interface : Carte d'acquisition – Bus de Mesure. Carte PCI-DIO32HS.
- 1 Logiciel acquisition SOL.
- Divers traitement des données.

La figure 7.2 montre un schéma général de cette chaîne de mesure, on peut y voir les différentes parties du système.

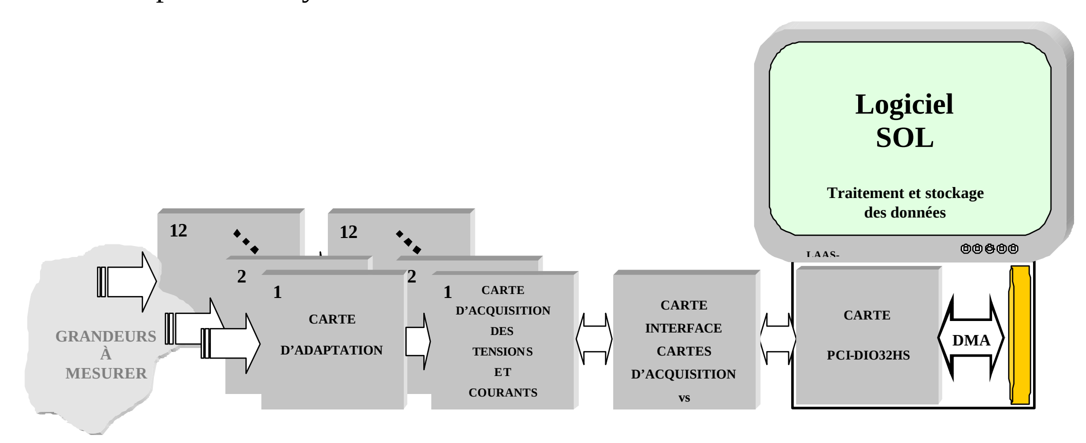


Figure 7.2.- Schéma de principe de la chaîne de mesure

Le but de cette chaîne de mesure est d'arriver à des mesures de précision avec la meilleure exactitude possible. Pour réussir, il faudra faire un étalonnage de tout le système de mesure en prenant un appareil ayant une bonne précision, ayant été récemment calibré (moins d'un an) pour obtenir des mesures les plus exactes possibles. Notre objectif est d'obtenir des mesures de rendement de la chaîne de puissance (constitué par différents panneaux, différents chargeurs et batterie/s) avec une précision de 1 %. Sur l'Annexe I de ce rapport il y a toute le procède suivi pour l'étalonnage du système de mesure du site LAAS-CNRS.

Nous décrivons ci-dessous les diverses parties constituant la chaîne de mesures.

7.1.1 La Carte d' Adaptation.

Cette carte s'occupe d'adapter les tensions et les courants à mesurer dans les niveaux tolérés par les entrées différentielles de la carte de mesure Ses capteurs sont des ponts diviseurs de tension pour les grandeurs à mesurer qui sont des tensions et des résistances shunts pour les grandeurs à mesurer qui sont des courants. La figure 7.3 montre comment ces capteurs sont reliés à la chaîne de puissance.

Si on regarde la figure 7.3, il apparaît qu'après ces capteurs, il faut faire un traitement des signaux qui sera inclus dans la carte d'acquisition. D'autre part, on sait que les valeurs des résistances constituant ces capteurs ont une variation autour de leur valeur nominale. Ces tolérances sont le premier paramètre d'incertitude de la chaîne de mesure. Il faudra donc faire un bon étalonnage de tout la chaîne de mesure pour atteindre l'objectif de précision de 1%.

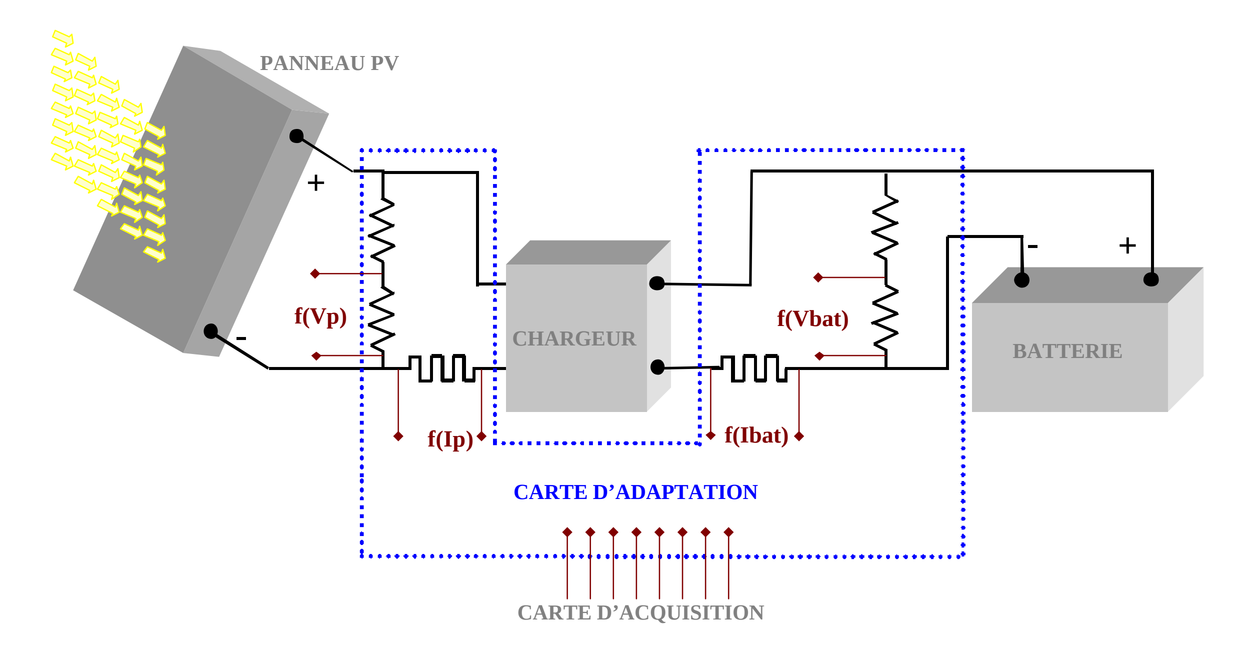


Figure 7.3.- Mesure des grandeurs d'entrée et de sortie d'un chargeur.

7.1.2 La carte d'acquisition.

La carte d'acquisition s'occupe de traiter convenablement les signaux qui proviennent de la carte d'adaptation pour les transformer en grandeurs numériques. Ces grandeurs seront ensuite envoyées au PC au moyen d'une carte d'interface de National Instrument (PCI-DIO 32HS) qui est installée sur le PC d'acquisition. Après le logiciel SOL pilote la totalité du procès de mesure et permet la sauvegarde des données.

La figure 7.4 montre une photographie des cinq cartes d'acquisition qui sont opérationnelles roulent actuellement sur le site de mesure du LAAS-CNRS.

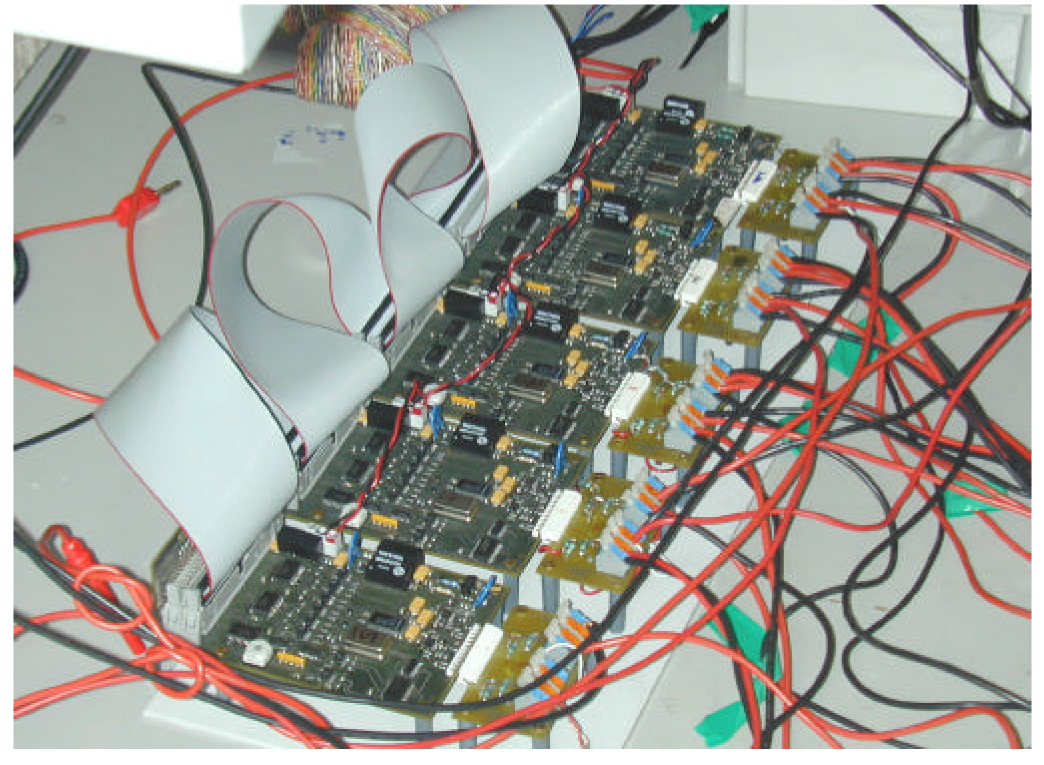


Figure 7.4.- Photographie des cartes d'acquisition en formant le banc de mesures LAAS-CNRS.

7.1.2.1 L'acquisition numérique des données.

Pour transférer les mesures acquises au plus près de chaque convertisseur de puissance jusqu'au PC, une solution numérique a été retenue. Cela a impliqué l'utilisation d'un convertisseur analogique-numérique à 4 entrées simultanées (*CAN*) par convertisseur statique à tester pour transformer les données analogiques en numériques. Etant données les contraintes spécifiques aux mesures de puissance, 5 cartes de mesures spécifiques comprenant chacune un CAN ont été créées pour, d'une part convertir au plus près les mesures en numérique et, d'autre part, assurer le transfert des données. Cette conception a été prise en charge par M. Denis Lagrange, Ingénieur de Recherche du service 2I du LAAS. Il a été aidé dans la réalisation de ces cartes par M. Daniel Medale et M Patrick Marcoule.

Le choix du CAN MAX 125 a été fait car il offre la possibilité de convertir, sur 14 bits, ses quatre entrées analogiques en signaux numériques de façon parfaitement synchrone. Cette propriété indispensable dans le cas particulier de nos mesures de puissance, évite d'utiliser un CAN par mesure. Les bits de signe et de poids faible (*LSB*) ne sont pas utilisés. Donc chaque *mesure* est codée sur 12 bits. Ce qui présente une précision suffisante dans notre cas. Selon les chronogrammes décrits en figure 7.5, nous pouvons déduire le fonctionnement du CAN. Le début de la conversion A/N est lancé par l'activation du signal CONVST (niveau bas). L'acquisition des 4 données analogiques présentées aux 4 entrées analogiques du CAN se fait de manière simultanée. Les conversions A/N des entrées analogiques se font ensuite successivement en commençant par l'entrée CH1. Le temps de conversion par voie étant de 3µs, le temps de conversion total est de 12µs par CAN.

Une fois la conversion terminée, le signal INT est activé. La récupération de chaque mot numérique est effectuée à travers les signaux RD et CS. Il faut ainsi envoyer 1 ordre de commande sur RD par mot à évacuer. En fait, c'est le PC qui envoie le premier ordre correspondant à l'instant de mesure puis ensuite après avoir reçu le signal INT, il envoie les ordres successifs de lecture des mots.

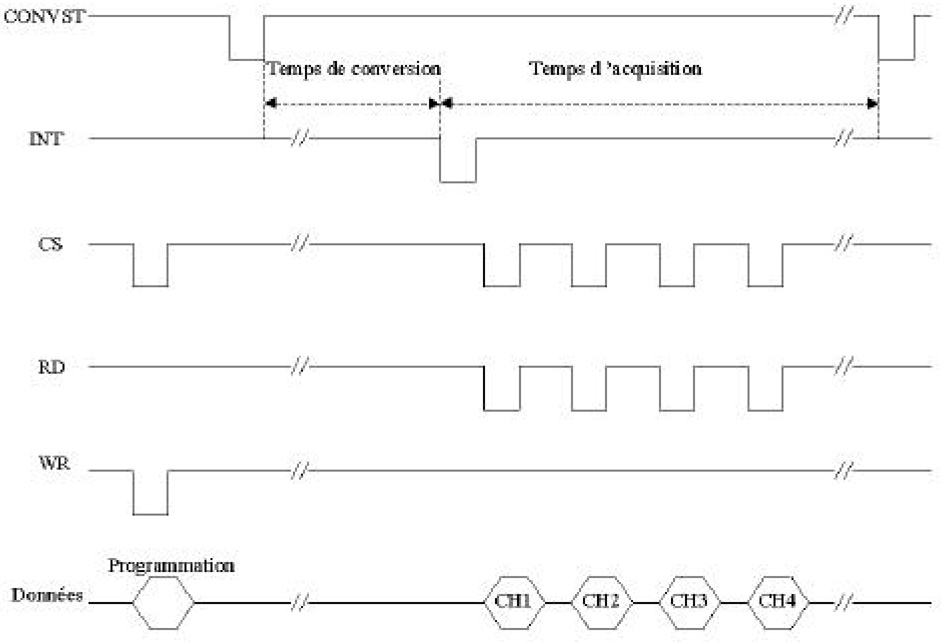


Figure 7.5.- Chronogrammes de fonctionnement du CAN MAX 125.

Ainsi, chaque carte de mesures conçue et réalisée au LAAS-CNRS fournit quatre mots de 12 bits de données à chaque période d'échantillonnage. Pour une fréquence d'échantillonnage de 1kHz, il faudra gérer à veine le flot de données de 13 cartes (12 cartes pour les convertisseurs et 1 carte pour les mesures météorologiques). Une estimation du flot de données est faite ci-dessous.

Mesure	Mots	Bits	Bits normalisés
1 mesure	1	12	16
1 carte de mesures	4	48	64
13 cartes	52	624	832
Sur 1s (1000 x 13)	52K	624K	832K
1h	187.2M	2.25G	3G
5h	936M	11.25G	15G

Tableau 7.1. Estimation du flot de données de la chaîne de mesure.

7.1.2.2 Transmission des données.

Etant donné le flot très important de données, il a été choisi d'utiliser une transmission de données sur un bus parallèle. La figure suivante montre le synoptique de la chaîne de mesure pour un seul panneau PV associé à un convertisseur élémentaire.

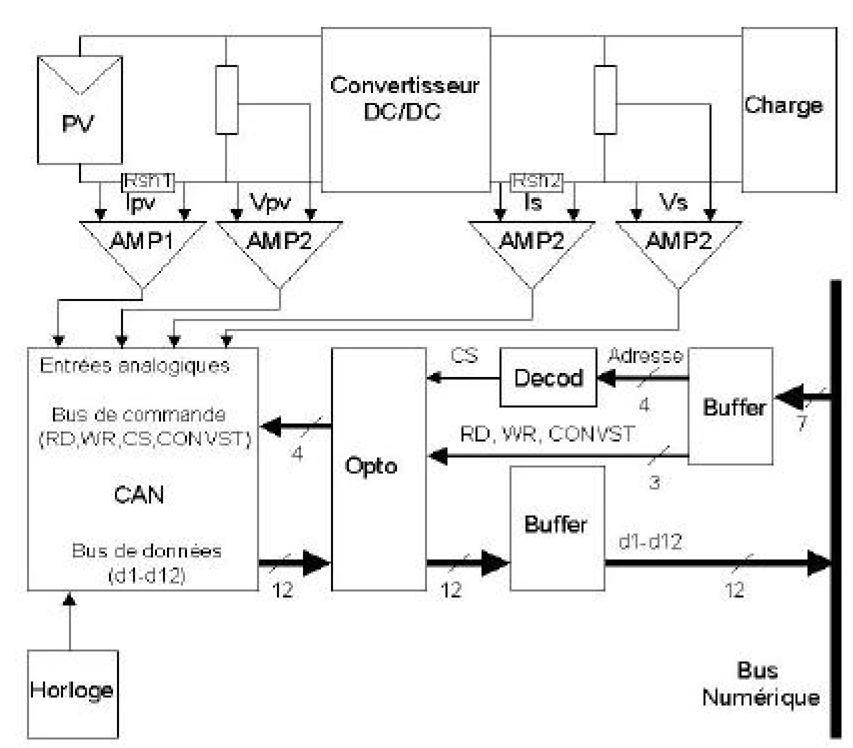


Figure 7.6.-. Chaîne de mesure réalisée au LAAS et illustrée pour un panneau PV.

7.1.3 Carte interface PCI-DIO-32HS.

La carte d'acquisition numérique (PCI-DIO-32HS) de National Instrument réalise l'interface matérielle entre le PC et les cartes d'acquisition. En effet cette carte s'occupe d'envoyer les ordres d'acquisitions provenant du PC aux cartes d'acquisition et de

recueillir les données numériques délivrées par les cartes d'acquisition et le remettre sur le PC.

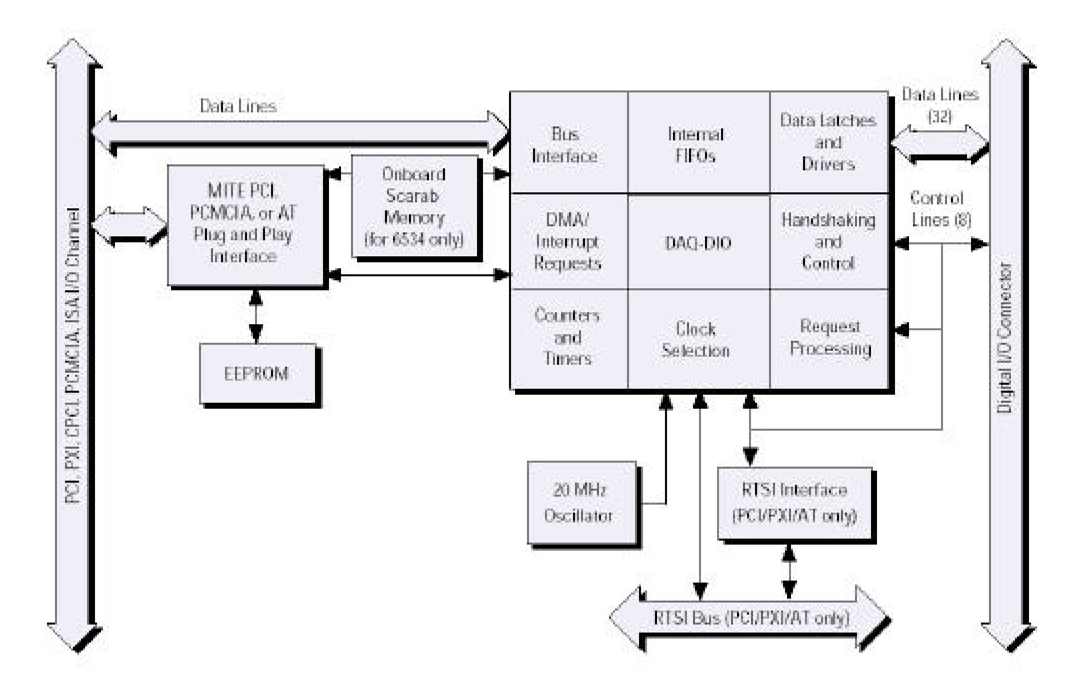


Figure 7.7.- Bloc diagramme de la carte numérique PCI-DIO-32HS.

7.1.4 Logiciel de Mesure SOL.

Le Logiciel SOL fonctionne sous un environnement Windows sur PC, soit LABWINDOWS/CVI sous un environnement ANSI C. Chaque carte de mesure réalise 4 mesures simultanées suivies de la lecture des données sérialisées sur un bus de données de 12 bits.

Le PC assure, au moyen du logiciel SOL, la commande des cartes de mesure en envoyant des séquences de commande toutes les 1ms (correspondant à une fréquence d'échantillonnage de 1 kHz), tant que le système est en acquisition.

Une acquisition est constituée de 1000 points contigus à la fréquence d'échantillonnage choisi par l'utilisateur (jusqu'à 15 kHz). Le PC envoie sur le bus de mesure, la trame de commande correspondant à l'acquisition de 1000 points. En même temps, sur le port d'entrée, il collecte les mesures au fur et à mesure de leur arrivée. Toutes les tâches (entrée et sortie) se font à travers la carte PCI-DIO-32HS en DMA.

Une interface utilisateur apparaît dès le lancement du programme. Cette interface que l'on peut voir sur la figure 7.8 permet d'accéder au bouton Start/Stop de l'acquisition, fréquence d'affichage sur l'écran (défini comme un affichage tous les k acquisitions) et de disposer de certains paramètres essentiels comme : le nombre de cartes de mesure, la fréquence d'échantillonnage, le sous répertoire de sauvegarde et le nom du fichier de sauvegarde, le traitement valide/non valide. Egalement, un menu de calibrage rend possible l'introduction des valeurs d'étalonnage des cartes de mesure pour l'affichage des mesures sur l'écran.

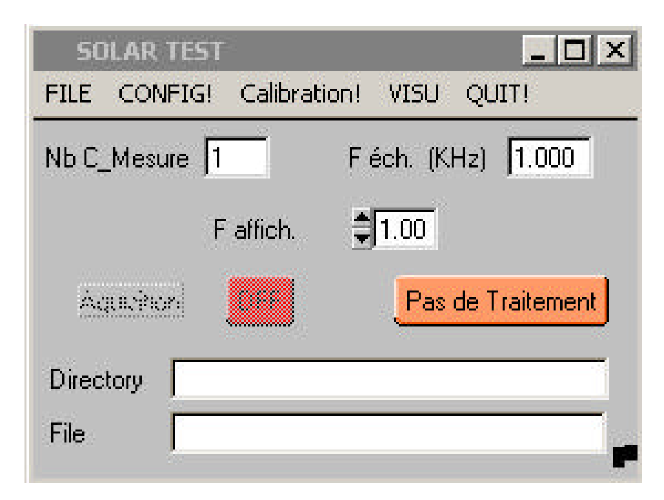


Figure 7.8.- Fenêtre principale du logiciel SOL.

Ce logiciel permet de visualiser les mesures qui sont en cours. Nous pouvons afficher les tensions, courants, puissances, rendements mais aussi il est possible d'afficher les puissances moyennes, les rendements,… de chaque bloc de mesure au cours du temps. La figure 7.9 représente un affichage des mesures d'un block d'acquisition.

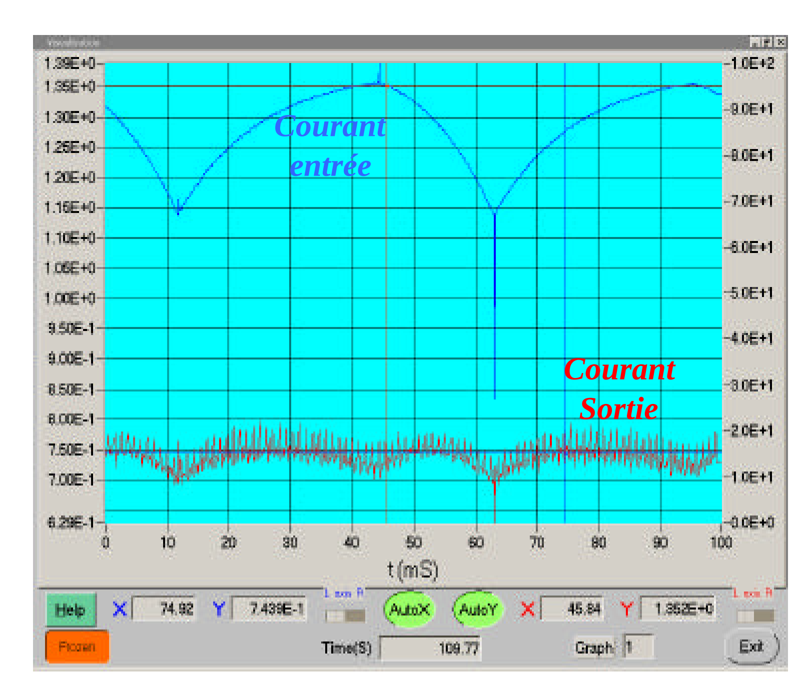


Figure 7.9.- Fenêtre de visualisation du logiciel SOL lors des mesures avec le chargeur LAAS-CNRS. En bleu, le courant d'entrée et en rouge, la courant de sortie du chargeur.

7.1.5 Traitement des données obtenues avec le système de mesure.

Le système de mesure au moyen du logiciel SOL garde les données de tension et de courant de toutes les cartes de mesure sur des fichiers. Ces données sont des données brutes (sans calibrer). En fait, ces données gardées sont celles numérisées par les convertisseurs analogique numérique. Elles sont codifiées en 12 bits et aucun traitement du point de vu du calibrage est fait pendant la sauvegarde.





Pour réaliser toute l'étude qu'on a présenté sur le chapitre 8, nous faisons appelée un traitement au préalable des données sauvegardées. Ce traitement que nous avons réalisé sous MATLAB®, se présente sous divers fichiers de programme rajoutés en Annexe III.

Le premier traitement réalisé sur les données correspond au calibrage. Ce calibrage des données est fait à partir des valeurs d'étalonnage correspondant à chaque carte d'acquisition, (voir Annexe I). Une fois les données calibrées, on a réalisé un autre traitement pour réduire la taille des fichiers tout en maintenant les informations importantes des mesures. Pour chaque bloc de mesure obtenu, on a calculé les puissances d'entrée et de sortie et la puissance maximale d'un panneau PV. Ensuite, les moyennes des tensions, des courants et des puissances d'entrée et sortie ont été calculés. Ainsi, pour chaque carte d'acquisition, nous avons gardé sur un nouveau fichier (Par exemple pour la carte 1 : moyencarte1.dat) les tensions moyennes, les courants moyens, les puissances moyennes et la puissance maximale d'un panneau. D'autre part, nous avons créé un fichier supplémentaire contenant l'heure du relevé en secondes après l'acquisition de chaque bloc. Ce fichier contiendra le temps en secondes correspondant à chaque mesure moyenne obtenu à partir des données d'un block de mesure.

Une fois ces fichiers crées, un autre programme MATLAB® s'occupera de récupérer les nouvelles données déjà calibrées et de les traiter de façon convenable pour faire l'étude des différents chaînes de conversion de puissance. Cette partie correspond à la création de graphiques, de calcul des énergies,…

Tous les fichiers utilisés pour la réalisation de cette étude sont inclus et commentés sur l'Annexe III.

8 Etude Comparative de Chargeurs de Batteries à Energie Photovoltaïque.

Ce chapitre reste confidentiel, pour tout renseignement veuillez contacter :

Mme Corinne ALONSO

Email : alonsoc@laas.fr

Téléphone : (0033) 05 61 33 69 42

Fax : (0033) 05 61 33 62 08

Groupe TMN (Technologie de Micro et Nanostructures.)

LAAS-CNRS

Av Colonel Roche 7,

31077 TOULOUSE Cedex 4

FRANCE

9 Conclusions

Ce chapitre reste confidentiel, pour tout renseignement veuillez contacter :

Mme Corinne ALONSO

Email : alonsoc@laas.fr

Téléphone : (0033) 05 61 33 69 42

Fax : (0033) 05 61 33 62 08

Groupe TMN (Technologie de Micro et Nanostructures.)

LAAS-CNRS

Av Colonel Roche 7,

31077 TOULOUSE Cedex 4

FRANCE

10 Références bibliographiques.

[1] M.Firas Shraif, C.Alonso and A. Martinez, 'A Simple Robust Maximum Power Point Control (MPPC) for Ground Photovoltaic Generator'. Proc. International Power Conference (IPEC'2000), Tokyo (Japan), 3-7 April 2000, pp. 158-163.

[2] BP 585F High-Efficiency Monocrystalline PV Module Data Sheet, BP SOLAR.

[3] NT-R5E3H Single-Silicon Photovoltaic Module Data Sheet. SHARP Corporation. OSAKA, JAPAN.

[4] « Transfert d'énergie maximal en conversion photovoltaïque par un choix judicieux de la commande (Recherche du point de puissance maximal) ». C.Alonso. Rapport LAAS N°01630, Décembre 2001, 9p. Revue Club CRIN.

[5] "High efficiency of elementary photovoltaic conversion chains”. M.F.Shraif, C.Alonso, E. le Denmat , A.Martinez. Rapport LAAS No01628. 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Munich (Allemagne), 22-26 Octobre 2001, 4p.

[6] "Méthodologie de conception de centrales modulaires photovoltaïques et éoliennes. » C.Alonso. Rapport LAAS No01485. Contrat CNRS/ECODEV ADEME, Mars 2001, 22p.

[7] “Optimised photovoltaic conversion chains in inhomogeneous radiation cases.” C. Alonso , M.F.Shraif, A.Martinez. Rapport LAAS No00622 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Glasgow (GB), 1-5 Mai 2000, Vol.III, pp.2422-2425.

[8] "Conception et réalisation d'une chaîne de production d'électricité photovoltaïque modulable ». C. Alonso , M.F.Shraif, A.Martinez. Rapport LAAS No99477. Rapport de contrat intermédiaire. Contrat Région Midi-Pyrénées N°RECH/97001945, Octobre 1999, 8p.

[9] "Conception et réalisation d'une chaîne de production d'électricité photovoltaïque modulable ». C. Alonso , D. Lagrange, A.Martinez. Rapport de contrat final. Contrat Région Midi-Pyrénées N°RECH/97001945, juin 2002, 30p.

[10] TBCH-1206M Solar Battery Controller Data Sheet. TERRA SOLAR USA Inc.

[11] H. J. Novel, ‘Semiconductors and Semimetals, Volume 11 Solar Cells’. Ed. Academic Press, 1975.

[12] Unitrode Corporation,’ Improved Methods for Charging Lead-Acid Batteries Using the UC3906, U-104 Application Note’, Unitrode Applications Handbook, 1997, pp. 3-78 - 3-88. (Texas Instruments Inc.)

[13] Bob Mammano. Portable Power – ‘A Designer’s Guide to Battery Management’, Topic 2, SEM-1000, Unitrode Power Supply Design Seminar Book.

[14] PANASONIC, Sealed Lead-Acid Batteries, Technical Handbook ’99. Matsushita Battery

[15] Solar Lighting Controller Model LS-2, Product specification, SOLAR CONVERTERS Inc. http://www.solarconverters.com/

[16] 10 Amp Charge Controller Model: PT 12/24-10 Product specification, SOLAR CONVERTERS Inc. http://www.solarconverters.com

[17] Manuel d’utilisation du régulateur SUNLINE PSC 15/25. ECOSOL SARL.

[18] SOLAR BOOST™ 2000 Installation and operation Manual, *RV POWER PRODUCTS Inc*. http://www.rvpowerproducts.com.

[19] D. Linden, ‘Handbook of Batteries’ 2nd Edition. Ed. McGraw-Hill, INC New York 1995.

[20] A. Capel, A. Barnaba, 'Evaluation of Bus Impedance on the Spot Multimission Platform'. ESA Journal 1983, Vol 7, pp. 277-298.

[21] *Leyva, R.; Martinez-Salamero, L.; Maixe, J.; Giral, R.; Guinjoan, F* **, '**Large-signal stability of a boost regulator by means of linear control laws'. Industrial Electronics, 1999. ISIE '99. Proceedings of the IEEE International Symposium on , Volume: 1 , 1999.

[22] UC3524 Data Sheet, Texas instruments Inc.

[23] Z. Salameh, "Step-up maximum power point tracker for photovoltaic arrays", *Proc. of the 1998 annual meeting of the American Solar Energy Society*, Cambridge, USA, june 1998, pp 409-414.

[24] T. Ikegami, T. Maezono, F. Nakanishi, Y. Yamagata and K. Ebihara , 'Estimation of equivalent circuit parameters of PV module and its application to optimal operation of PV system', *Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 67, Issues 1-4, March 2001, Pages 389-395.*

[25] Angel Cid, Vincent Boitier, Corinne Alonso, 'Première évaluation comparative de chargeurs de batteries solaires', *Rapport intermédiaire de contrat EDF, Rapport interne LAAS-CNRS.*, 2002.

[26] L. Protin, S. Astier, "Convertisseurs photovoltaïques", *Techniques de l'ingénieur*, Ref D3360 - Vol DAB, http://ti.idm.fr

[27] R. Pedrola, 'Réalisation de convertisseurs statiques DC/DC avec MPPT de haut rendement et faible puissance spécifique d'énergie PV', *Rapport interne LAAS-CNRS.*, 2002.

[28] Vincent BOITIER, Corinne ALONSO, Denis LAGRANGE, Daniel MEDALE, Patrick MARCOUL, Angel CID, Guy SCHWEITZ, Jean ALZIEU. 'Chargeurs de Batterie Solaire: Mesures des rendements', *EPF 2002 Montpellier Novembre 2002.*

[29] François Beauchamps, "Optimisation de chaînes de conversion photovoltaïque. Réalisation de micro convertisseurs de 100W",*rapport de D.E.A. de l'I.N.P. Toulouse, Université Paul Sabatier*, juin 2001.

[30] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, *first edition, 1993, corrected and reprinted 1995, International Organization for Standarization (Geneva, Switzerland).*

[31] Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, *EA-4/02 , European co-operation for Acreditaion, December 1999.*

[32] R. Pallás-Areny, J. G. Webster, 'Sensors and Signal Conditioning', *1st edition Ed Wiley Inter-Science.*

11 Annexe I. Étalonnage de la Chaîne de Mesure.

Ce chapitre reste confidentiel, pour tout renseignement veuillez contacter :

Mme Corinne ALONSO

Email : alonsoc@laas.fr

Téléphone : (0033) 05 61 33 69 42

Fax : (0033) 05 61 33 62 08

Groupe TMN (Technologie de Micro et Nanostructures.)

LAAS-CNRS

Av Colonel Roche 7,

31077 TOULOUSE Cedex 4

FRANCE

12 Annexe II. Étalonnage des Panneaux Photovoltaïques.

Ce chapitre reste confidentiel, pour tout renseignement veuillez contacter :

Mme Corinne ALONSO

Email : alonsoc@laas.fr

Téléphone : (0033) 05 61 33 69 42

Fax : (0033) 05 61 33 62 08

Groupe TMN (Technologie de Micro et Nanostructures.)

LAAS-CNRS

Av Colonel Roche 7,

31077 TOULOUSE Cedex 4

FRANCE

13 Annexe III. Fichiers MATLAB de Traitement de Données.

Ce chapitre reste confidentiel, pour tout renseignement veuillez contacter :

Mme Corinne ALONSO

Email : alonsoc@laas.fr

Téléphone : (0033) 05 61 33 69 42

Fax : (0033) 05 61 33 62 08

Groupe TMN (Technologie de Micro et Nanostructures.)

LAAS-CNRS

Av Colonel Roche 7,

31077 TOULOUSE Cedex 4

FRANCE